Research & Development Highlights

Technical Series **96-213**

Simulation of Wind-Driven Rain and Wetting Patterns on Buildings

Introduction

Three conditions must exist simultaneously for rain penetration to occur: 1) there must be water on the surface of the building; 2) there must be a force (such as gravity, kinetic energy, capillarity or wind pressure) to drive the water through the wall; and 3) there must be a leakage path in the wall through which the water can penetrate.

Eliminating any one of these conditions will eliminate rain penetration. Conventional approaches to rain penetration have focused on eliminating openings or eliminating the forces, particularly wind, that cause water to penetrate. It has always been assumed that it is not possible to control the rain on the surface of a building. However, this research project looks at the interaction of wind and rain and suggests that there may be some means of limiting the amount of water that impinges upon a building.

This project included the following components: 1) a demonstration of the feasibility of physically modelling wind-driven rain in a wind tunnel to show how wetting affects buildings; 2) a study, using a model that allows comparisons with field experience, of the effects of wind direction and wind speed on wetting patterns; and 3) an exploratory investigation of the effects of building height and architectural features on wetting patterns.

Research Program

MODELLING OF WIND-DRIVEN RAIN IN THE WIND TUNNEL

The modelling of wind-driven rain required the simultaneous scaling of wind and rain. Modelling of the wind involves a standard procedure at the Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory at the University of Western Ontario. However, the modelling of rain at a scale congruent with the wind presented new challenges. After determining the full scale drop size distribution to be modelled, the researchers had to identify a configuration of nozzles that would duplicate that distribution. At the same time, they had to ensure that the smaller water droplets did not evaporate before reaching the model and that the lateral spread of the droplets was appropriate for different wind speeds. An important design feature of the nozzle system that they developed is a release valve that allows the spray to be turned off almost instantaneously. This allows more control on the duration of tests and prevents problems with variation in drop sizes during shutdown.

Cette publication est aussi disponible en français sous le titre : *Simulation de la pluie poussée par le vent et de la répartition du mouillage sur les bâtiments*

CMHC SCHL
Helping to house Canadians

NHA 6408

WETTING PATTERNS ON A BASIC BUILDING

A 1:64 scale model was created of an 18-storey building in Ottawa, with full-scale dimensions of approximately 81 m by 18 m by 60 m high. The model was constructed with a wooden core and a foam exterior with provision for optional balconies. Masonite boards the size of the building faces were covered with a grid pattern of water-sensitive paper and fastened to the model to provide an immediate and permanent visual picture of the wetting pattern on the building faces and to allow quantitative analysis. The quantitative analysis involved sizing the droplet stains and calculating the volume of water they represented. The quantitative analysis was very labour-intensive and so was conducted for only a selected number of locations.

The duration of the tests was dictated by the wettest area of the building; the tests were stopped before individual drops become indistinguishable on the water-sensitive paper. Tests were run at three wind speeds (4.8, 12.0 and 18.4 m/s full speed) and with the building oriented at 0, 45 and 90 degrees to the wind (0 degrees when the wide side of the building is oriented as a windward wall). At a wind speed of 1.5 m/s according to the model scale (12.0 m/s at full scale), the model was also tested at angles of 30 and 60 degrees.

The following observations were made:

1) At a 0 degree angle, the top corner of the windward wall is the wettest, followed by the top and side edges. The side face remains relatively dry. Corner intensity factors ranged from 0. 1 5 to 2.5, with ratios from about 2 to 50 between the rain impact at the corners and at the central region of the faces. (The Local Intensity Factors are determined as a ratio of the wetting rate on the building to the rainfall rate.)

2) Although not conclusive, it appears that increasing wind speed results in greater wetting in the centre region of the windward wall relative to the edges. Also, Local Intensity Factors were found to increase significantly with increasing wind speed; the exception to this was at the highest wind speed. The Local Intensity Factor seemed lower overall for the wide face than for the narrow face: this observation is in agreement with other research findings.

3) There was a general trend towards less intense wetting of a face as it changes from a windward exposure to a side exposure.

4) As the angle between the building and the wind is changed, the upstream edge of the wide face is the wettest (with a Local Intensity Factor of about 0.7 at a wind speed of 12.0 m/s, which is very similar to that for a windward wall at the same speed). The downstream edge remained relatively dry (with a local intensity factor of 0.05 at a wind speed of 12.0 m/s). As the angle between the wind

direction and the wide face decreases, the more heavily wetted region seems to get smaller.

5) For the narrow face, at 45 and 60 degrees between the face and the wind direction, the wetting pattern is similar to that for a windward wall. In one test, at 30 degrees, higher wetting was observed along the downstream edge of the face than at the upstream edge, presumably due to separation. The observation that wetting of a face is less intense as it changes from a windward exposure to a side exposure is particularly true in the lower 80 percent of the face. Some zones along the top edge remain quite heavily wetted, even for the angle of 30 degrees, where the Local Intensity Factor at the downstream top corner is 0.52.

When the test was conducted to simulate balconies, it was found that there was minimal effect for wind that blew perpendicular to the building. At glancing wind angles (wide edge parallel to the building), there was a more local sheltering effect, and with winds blowing parallel to the face, there was very little wetting.

WETTING PATTERNS OF BUILDINGS OF DIFFERENT HEIGHTS

To study the effect of building height, three buildings were modelled with dimensions of 40 m by 20 m (full-scale) and heights of 60 m, 40 m and 20 m (full-scale) respectively. The general wetting pattern was found to remain the same regardless of building height, but it appeared that the intensity of wetting along the top edge increased with building height; this is likely due in part to the increase in wind speed at building height. The side wall remained quite dry in all cases. When tested at 45?, the wetting patterns on both sides of the shortest building resembled those on the windward face. As the building got taller, the wetting on both faces became progressively more intense at the upstream edge relative to the downstream edge.

EFFECT OF ARCHITECTURAL FEATURES ON WETTING PATTERNS

Cornices: Two cornices were modelled. The first was 2 m deep and the second was 1 m deep (full-scale). Both were 4 m high (full-scale). It was found that the cornice provides excellent protection for the area directly below it for the entire width of the building and for all building heights and angles. The 2-m cornice had a dry area 1.5 m high, while the 1-m cornice had a dry area 0.75 m high. Other than the dry zone at the top, the wetting pattern on a building with a cornice is the same as for one without, with the middle region of the faces seeming to receive the same amount of rain whether there is a cornice or not. The cornice itself was heavily wetted in a pattern resembling that of the building face.

Peaked Roof: A building was modelled with a 45-degree roof with gable ends at the narrow sides of the building. The peaked roof also reduced rain impact on the windward face, although perhaps not as effectively as the cornice. The windward side of the peaked roof received significant rain impact, while the leeward side was relatively dry near the peak with a little wetting towards the base of the roof. The ends of the roof remained dry.

Inset Corners: An extension was added to the narrow ends of the building to provide an inset corner of approximately 2.5 m by 2.5 m (full-scale) for the height of the building. There was no effect on the windward face, but the windward face of the indentation received little rainfall, most of which was in the top corner.

Circular Cylinder: When a circular building was tested, it was found that the top windward edge, to approximately 45 degrees either side of centreline, received the greatest rain impact, followed by the windward centreline. The roof

was wettest towards the back with wetting approximately constant in the back two-thirds.

Implications for the Housing Industry

In order to reduce rain penetration in high-rise residential buildings and to increase the durability of building designs, it is important to understand how rain and wind interact with buildings. This research is believed to be the first study of wind-driven rain and wetting pattern simulation in a wind tunnel. It has been shown to be a viable method to predict the wetting pattern on buildings. Through an understanding of wetting patterns on various building shapes and sizes, we can design the exterior cladding to account for the wetting. For example, cladding systems that are more resistant to water penetration can be used in high wetting areas. Costs may be saved by not using such systems for the entire building face. Buildings can also be better designed to allow for the drainage of water from their surface.

Now that it has been established that wind-driven rain can be simulated in the wind tunnel, we have a tool scale model testing) to validate our designs prior to construction. Preliminary results showed that features such as overhangs and cornices can be effective in reducing the amount of rain which falls on a building, even on highrise buildings. The wind tunnel can be used in the future to study further the ability of architectural features to mitigate building wetting rates. If buildings can be designed that get less wet, we can go a long way towards preventing rain penetration problems.

The information in this publication represents the latest knowledge available to CMHC at the time of publication and has been thoroughly reviewed by experts in the housing field. CMHC, however, assumes no liability for any damage, injury, expense or loss that may result from use of this information.

Project Manager: *Jacques Rousseau*

Research Report: *Simulation of Wind-Driven Rain and Wetting Patterns on Buildings*

Research Consultant: *The Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, University of Western Ontario*

A full report on this research project is available from the Canadian Housing Information Centre at the address below.

Housing Research at CMHC

Under Part IX of the National Housing Act, the Government of Canada provides funds to CMHC to conduct research into the social, economic and technical aspects of housing and related fields, and to undertake the publishing and distribution of the results of this research.

This fact sheet is one of a series intended to inform you of the nature and scope of CMHC's technical research report.

The ***Research and Development Highlights*** *factsheet is one of a wide variety of housing related publications produced by CMHC.*

For a complete list of ***Research and Development Highlights****, or for more information on CMHC housing research and information, please contact:*

The Canadian Housing Information Centre
Canada Mortgage and Housing Corporation
700 Montreal Road
Ottawa, Ontario
K1A 0P7

Telephone: (613) 748-2367
FAX: (613) 748-2098

OUR WEB SITE ADDRESS: http://www.cmhc-schl.gc.ca/Research/HighRise

Canada

The information in this publication represents the latest knowledge available to CMHC at the time of publication, and has been thoroughly reviewed by experts in the housing field. CMHC, however, assumes no liability for any damage, injury, expense or loss that may result from use of this information.

Série technique **96-213**

Simulation de la pluie poussée par le vent et de la répartition du mouillage sur les bâtiments

Introduction

Pour qu'il y ait pénétration de la pluie, trois conditions doivent coexister : 1) présence d'eau sur la surface du bâtiment; 2) présence d'une force (telle que la gravité, l'énergie cinétique, la capillarité ou la pression du vent) qui pousse l'eau au travers du mur; et 3) présence d'une voie d'infiltration dans le mur par laquelle l'eau peut pénétrer.

La suppression de n'importe laquelle de ces conditions éliminera la pénétration de la pluie. Les voies de recherche traditionnelles sur la pénétration de la pluie ont principalement été axées sur l'élimination des ouvertures ou des forces, surtout le vent, causant la pénétration de l'eau. On a toujours cru qu'il est impossible de contrôler la pluie qui tombe sur la surface d'un bâtiment. Toutefois, le présent projet de recherche permet d'examiner l'interaction du vent et de la pluie, et laisse entrevoir qu'il existe peut-être des façons de limiter la quantité d'eau qui frappe un bâtiment.

Ce projet comprend les éléments suivants :
1) une démonstration de la possibilité de modéliser concrètement, dans une soufflerie, la pluie poussée par le vent et son interaction avec des bâtiments;
2) une étude des effets de la direction et de la vitesse du vent sur la répartition du mouillage, en utilisant un modèle qui permet d'effectuer des comparaisons avec ce qui se passe sur le terrain; et 3) une enquête préliminaire relative aux effets de la hauteur du bâtiment et des caractéristiques architecturales sur la répartition du mouillage.

Programme de recherche

MODÉLISATION DE LA PLUIE POUSSÉE PAR LE VENT EN SOUFFLERIE

La modélisation de la pluie poussée par le vent exigeait la mise à l'échelle simultanée du vent et de la pluie. La modélisation du vent est une procédure courante au laboratoire de la soufflerie aérodynamique à surface de séparation de l'Université Western Ontario. Toutefois, la modélisation de la pluie à une échelle congruente au vent présentait de nouveaux défis. Après avoir déterminé la répartition des gouttes en vraie grandeur à modéliser, les chercheurs ont dû trouver une configuration de gicleurs qui reproduirait cette répartition, tout en s'assurant que les gouttelettes les plus petites ne s'évaporent pas avant d'atteindre le modèle et que la distribution latérale des gouttelettes soit appropriée pour les différentes vitesses du vent. Le système de gicleurs développé se distingue par un robinet de déclenchement qui permet de couper presque instantanément l'eau pulvérisée, pour ainsi mieux contrôler la durée des essais et éviter les problèmes causés par la variation de la taille des gouttelettes durant l'interruption.

This highlight is also available in English under the title: *Simulation of Wind-Driven Rain and Wetting Patterns on Buildings*

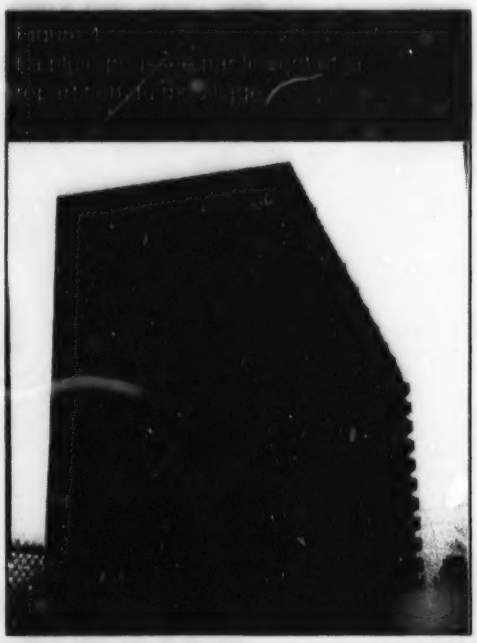
SCHL CMHC
Question habitation, comptez sur nous

LNH 6409

RÉPARTITION DU MOUILLAGE SUR UN BÂTIMENT DE BASE

Un modèle à l'échelle 1:64 d'un bâtiment de 18 étages situé à Ottawa a été construit; les dimensions réelles du bâtiment sont d'environ 81 m sur 18 m sur 60 m de hauteur. Le modèle comprend une âme de bois et un revêtement de mousse. Il est possible d'ajouter des balcons. Des panneaux de masonite de la taille des surfaces du bâtiment, revêtus de papier sensible à l'eau avec un motif de grillage, ont été fixés au modèle afin de fournir une indication visuelle immédiate et permanente de la répartition du mouillage sur les surfaces du bâtiment tout en permettant une analyse quantitative. L'analyse quantitative porte sur les dimensions des taches formées par les gouttelettes et sur le volume d'eau qu'elles représentent. Cette analyse nécessite une main-d'oeuvre abondante et n'a donc été effectuée que pour quelques emplacements.

La durée des essais a été déterminée par l'aire la plus mouillée du bâtiment; les essais ont cessé avant que les gouttes individuelles deviennent indiscernables sur le papier sensible à l'eau. Les essais ont été effectués à trois vitesses de vent (vitesses maximales de 4,8, 12,0 et 18,4 m/s) alors que le bâtiment était orienté à des angles de 0, 45 et 90 degrés par rapport au vent (0 degré correspondant à la façade la plus large du bâtiment orientée vers le vent). À la vitesse de vent de 1,5 m/s pour le modèle (12,0 m/s en vraie grandeur), l'essai du modèle a aussi été effectué à des angles de 30 et 60 degrés.



Les observations suivantes ont été notées :

1) À un angle de 0 degré, le coin supérieur du mur au vent est le plus mouillé, suivi des bords supérieur et latéraux. La façade latérale reste relativement sèche. Les facteurs d'intensité de coin variaient entre 0,15 et 2,5, dans un rapport de 2 à 50 pour la pluie dans les coins et la pluie au centre des façades. (Les facteurs d'intensité locale sont définis comme étant le rapport entre le taux de mouillage sur le bâtiment et l'intensité de la pluie).

2) Malgré l'absence de conclusion définitive, il semble qu'une augmentation de la vitesse du vent rend le centre du mur au vent plus mouillé par rapport aux bords. De plus, les facteurs d'intensité locale augmentent considérablement lorsque la vitesse du vent augmente. Toutefois, à la vitesse de vent maximale, le facteur d'intensité locale semble plus faible dans l'ensemble pour la façade large que pour la façade étroite. Cette observation correspond aux recherches effectuées par d'autres.

3) Le mouillage avait généralement tendance à être moins intense sur une façade lorsque l'orientation de celle-ci passait d'un vent de face à un vent de côté.

4) À mesure que l'angle entre le bâtiment et le vent change, le bord en amont de la façade large est le plus mouillé (pour un facteur d'intensité locale d'environ 0,7 à une vitesse de vent de 12,0 m/s, ce qui est très similaire à ce qui se produit pour un mur au vent à la même vitesse). Le bord en aval est resté relativement sec (avec un facteur d'intensité locale de 0,05 à une vitesse de vent de 12,0 m/s). À mesure que l'angle entre le vent et la façade large diminue, la région la plus mouillée semble décroître.

5) Dans le cas de la façade étroite, à 45 et 60 degrés entre la façade et la direction du vent, la répartition du mouillage est similaire à celle d'un mur au vent. Dans le cas de l'essai à 30 degrés,

le mouillage a été plus important le long du bord en aval de la façade que sur le bord en amont, probablement à cause de la séparation. L'observation selon laquelle une façade est moins mouillée quand elle passe d'une orientation au vent à une orientation de côté est particulièrement vraie en ce qui concerne la partie inférieure, soit 80 % de la surface totale. Certaines régions le long du bord supérieur demeurent très mouillées, même pour l'angle de 30 degrés où le facteur d'intensité locale au coin supérieur en aval est toujours de 0,52.

Lorsque l'essai a été effectué pour simuler la présence de balcons, on a observé un effet minimal dans le cas d'un vent perpendiculaire au bâtiment. Dans le cas de vents à angle de réflexion (bord large parallèle au bâtiment), la protection locale était supérieure, mais on observait très peu de mouillage dans le cas de vents parallèles à la façade.

RÉPARTITION DU MOUILLAGE SUR DES BÂTIMENTS DE DIFFÉRENTES HAUTEURS

Pour étudier l'effet de la hauteur d'un bâtiment, on a fabriqué trois modèles de bâtiments, ayant des dimensions de 40 m de large sur 20 m de profondeur (vraie grandeur) et des hauteurs de 60 m, 40 m et 20 m (vraie grandeur). Dans l'ensemble, la répartition du mouillage s'est avérée la même, peu importe la hauteur du bâtiment, mais l'intensité du mouillage le long du bord supérieur a semblé augmenter en fonction de la hauteur du bâtiment; cela est probablement attribuable en partie à l'augmentation de la vitesse du vent au haut du bâtiment. Dans tous les cas, le mur latéral est demeuré plutôt sec. Dans le cas d'un essai à 45 degrés, la répartition du mouillage sur les deux côtés du bâtiment le plus petit ressemblait à celle d'une façade au vent. Plus le bâtiment était haut, plus le mouillage sur les deux façades s'intensifiait sur le bord en amont par rapport au bord en aval.

EFFET DES CARACTÉRISTIQUES ARCHITECTURALES SUR LA RÉPARTITION DU MOUILLAGE

Corniches : Deux corniches ont été modélisées. La première avait 2 m de profondeur et la deuxième avait 1 m de profondeur (vraie grandeur). Toutes deux avaient une hauteur de 4 m (vraie grandeur). On a constaté que la corniche fournit une excellente protection pour la surface se trouvant directement sous la corniche, et ce, sur toute la largeur du bâtiment ainsi que pour toutes les hauteurs de bâtiment et tous les angles. La corniche de 2 m assurait une aire sèche de 1,5 m de hauteur tandis que la corniche de 1 m offrait une aire sèche de 0,75 m de hauteur. Sauf pour la région sèche de la partie supérieure, la répartition du mouillage sur un bâtiment avec corniches est identique à celle d'un bâtiment sans corniche, le centre des façades semblant recevoir la même quantité de pluie que s'il n'y avait aucune corniche. La corniche elle-même était très mouillée, à l'image de la façade du bâtiment.

Toit à double pente : Un bâtiment muni d'un toit de 45 pi et de murs pignons sur les côtés étroits a été modélisé. Le toit à double pente a aussi réduit la quantité de pluie frappant la façade au vent, quoique moins efficacement, peut-être, que la corniche. Le côté au vent du toit à double pente a reçu une quantité importante de pluie tandis que le côté sous le vent était relativement sec près du pic, et un peu mouillé à la base du toit. L'extrémité du toit est restée sèche.

Coins intérieurs : Une rallonge a été ajoutée aux extrémités étroites du bâtiment pour obtenir un coin intérieur d'approximativement 2,5 m sur 2,5 m (vraie grandeur) pour toute la hauteur du bâtiment. Il n'y a eu aucun effet sur la façade au vent, mais la façade au vent de la dentelure a reçu peu de pluie, la plus grande partie se trouvant dans le coin supérieur.

Cylindre circulaire : Lorsqu'un bâtiment circulaire a été mis à l'essai, on a constaté que le bord au vent supérieur, jusqu'à une distance approximative de 45 pi sur chaque côté de l'axe, recevait le plus de pluie, suivi de l'axe sous le vent. L'arrière du toit était le plus mouillé; le mouillage étant constant sur la partie arrière, soit les deux tiers de la surface du toit.

Répercussions pour l'industrie du logement

Afin de réduire la pénétration de la pluie dans les tours d'habitation et d'augmenter la durabilité des bâtiments, il est important de comprendre comment la pluie et le vent interagissent avec les bâtiments. On croit que cette recherche est la première à étudier la simulation de la pluie poussée par le vent et la répartition du mouillage en soufflerie. Il a été démontré que cette méthode est viable pour prédire la répartition du mouillage sur les bâtiments. En connaissant la répartition du mouillage sur les diverses formes et tailles des bâtiments, il est possible de concevoir un revêtement extérieur en fonction du mouillage. À titre d'exemple, des revêtements plus résistants à la pénétration de l'eau peuvent être utilisés dans les aires très sujettes au mouillage. Des économies peuvent être réalisées en évitant d'installer de tels produits sur toute la surface du bâtiment. Les bâtiments peuvent aussi être mieux conçus, permettant ainsi l'évacuation de l'eau de surface.

Maintenant qu'il a été démontré que la pluie poussée par le vent peut être simulée en soufflerie, nous possédons un outil (essai de modèle à l'échelle) pour valider nos concepts avant d'entreprendre une construction. Les résultats préliminaires ont indiqué que des caractéristiques telles que les surplombs et les corniches peuvent réduire efficacement la quantité de pluie qui tombe sur un bâtiment, même dans le cas de tours d'habitation. À l'avenir, la soufflerie pourra être utilisée pour étudier l'effet des caractéristiques architecturales afin d'atténuer les taux de mouillage d'un bâtiment. S'il est possible de concevoir des bâtiments qui se mouillent peu, il sera aussi possible d'éviter une grande partie des problèmes que cause la pénétration de la pluie.

Rapport de recherche : *Jacques Rousseau*

Rapport de recherche : *Simulation de la pluie poussée par le vent et de la répartition du mouillage sur les bâtiments*

Conseiller en recherche : *Laboratoire de la soufflerie aérodynamique à surface de séparation, Université Western Ontario*

On peut se procurer un rapport complet sur cette recherche auprès du Centre canadien de documentation sur l'habitation à l'adresse indiquée ci-dessous.

Recherche en logement à la SCHL

En vertu de la partie IX de la Loi nationale sur l'habitation, le gouvernement du Canada subventionne la SCHL pour mener des recherches sur les aspects socioéconomiques et techniques du logement et les domaines connexes et pour publier et diffuser les résultats de ces recherches.

Le présent feuillet documentaire fait partie d'une série de feuillets visant à vous informer de la nature et de l'ampleur des rapports de recherche technique de la SCHL.

Le feuillet documentaire intitulé ***Le point en recherche et développement*** *est un exemple de la vaste gamme de publications produites par la SCHL sur les questions de logement.*

Pour obtenir la liste complète des feuillets ***Le point en recherche et développement****, ou des renseignements supplémentaires sur les produits de recherche et d'information de la SCHL en matière de logement, prière de s'adresser au :*

Centre canadien de documentation sur l'habitation
Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7
Téléphone : (613) 748-2367
Télécopieur : (613) 748-2098

ADRESSE DE NOTRE SITE WEB : http://www.cmhc-schl.gc.ca/Recherche/Tours

Canada

Les renseignements contenus dans la présente publication correspondent à l'état des connaissances dont disposait la SCHL au moment de la parution et ont été revus à fond par des experts de l'industrie de l'habitation. La SCHL se dégage cependant de toutes responsabilités relatives aux dommages, aux blessures, aux dépenses ou aux pertes que pourrait causer leur utilisation.